

# Registrador Continuo para Medición de Temperaturas Utilizando Protocolo 1-Wire ®

Elio A. A. De María, Fernando I. Szklanny

Grupo de Investigación en Lógica Programable  
Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas  
Universidad Nacional de La Matanza  
Argentina

**Resumen** — Este trabajo se refiere al desarrollo de un sistema registrador de temperaturas que funciona en forma continua mediante la utilización de sensores de temperatura que utilizan el protocolo 1-Wire. Las propiedades de este protocolo permiten la realización de mediciones en forma continua en una considerable cantidad de elementos sensores, administrándolos desde un microcontrolador y con una interfaz de usuario basada en computadora personal. El sistema propuesto, basado en un microcontrolador comercial, reemplaza con ventajas a los registradores continuos basados en impresión sobre papel utilizados habitualmente para la medición y análisis de temperaturas en sistemas de refrigeración.

**Palabras clave:** Temperatura, Protocolo 1-Wire, Registrador continuo.

## I. INTRODUCCIÓN

Existen numerosas aplicaciones en las que se hace necesaria la medición continua de temperaturas en diferentes puntos de un sistema físico. Si bien los sistemas de medición, basados en sensores de temperatura adecuados, no presentan demasiada dificultad para su implementación, suele ofrecer cierta dificultad el registro continuo de dichas mediciones que permita un posterior análisis individual de las mismas con reconocimiento del sensor al que corresponden. En este trabajo se plantea la utilización de sensores de temperatura que responden al protocolo conocido como "1-Wire".

Este esquema, que se describirá brevemente en los apartados siguientes, permite la transferencia de información desde los elementos sensores por medio de un único cable de datos.

De acuerdo con el protocolo mencionado, cada uno de los sensores se identifica en forma unívoca con un número de serie de 64 bits, el que puede leerse desde un microcontrolador que maneja el mencionado protocolo. La unicidad de las identificaciones permite vincular cada lectura de temperatura con el sensor a que corresponde, lo que admite, a su vez, establecer un registro continuo de valores medidos desde los diferentes sensores. Los valores medidos se almacenarán en el sistema microcontrolador, en un número tal que solamente está limitado por la cantidad de memoria disponible en el mismo.

A los efectos de ampliar la cantidad de mediciones para permitir el proceso de medición y supervisión continua, se prevén dos alternativas: por una parte, la incorporación al

sistema microcontrolador de una memoria externa, de tipo no volátil que permita el almacenamiento de la información adquirida; por otra parte, una conexión del microcontrolador con un sistema supervisor, basado en PC, lo que permitirá utilizar todos los recursos de este tipo de computadoras, incluyendo el almacenamiento de mediciones durante largos períodos de tiempo, la posibilidad de utilizar interfaces gráficas para la comunicación con el usuario, la realización de estadísticas, la generación de alarmas visuales y sonoras en casos necesarios, etc.

La utilización de memorias tipo SD, económicas y de gran capacidad de almacenamiento permite, en este caso, obtener una ampliación importante de la capacidad de almacenamiento, sin un costo significativamente importante, y con una electrónica de manejo de dichas memorias que resulta sencilla de implementar.

Dado que el protocolo a utilizar permite la conexión de una importante cantidad de dispositivos sensores, puede verse que la aplicación planteada es aplicable tanto a sistemas de pequeña escala de medición como también a plantas industriales de mayor tamaño y con mayor cantidad de puntos de medición. El intervalo entre mediciones, por su parte, es configurable desde un límite inferior que tiene que ver, fundamentalmente, con el tiempo que requiere la ronda de lectura de los valores medidos.

## II. EL PROTOCOLO 1-WIRE ®

### A. Características básicas del protocolo a utilizar.

El protocolo utilizado surge originalmente como una herramienta apropiada para facilitar la comunicación entre distintos dispositivos ubicados a distancias cortas entre sí. Con el desarrollo de aplicaciones del protocolo, su utilización se amplía hacia conjuntos de elementos esclavos de un dispositivo maestro, interconectados en distintas topologías de red, y ubicados a distancias importantes del maestro [1]. La interconexión entre el maestro y los esclavos se realiza a través de una conexión de cable trenzado, con una única línea de datos más alimentación de los dispositivos esclavos.

Cada uno de los dispositivos esclavos utilizados se identifica con un número de serie de 64 bits, el que puede utilizarse como identificador de nodo, y que, por consiguiente, permite la identificación unívoca de cada uno de los elementos individuales incluidos en la red.

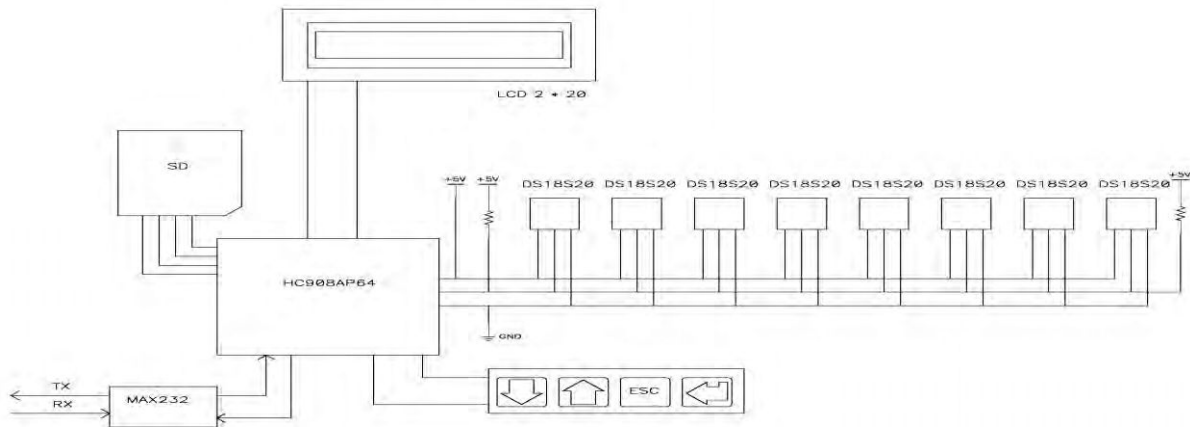


Figure 1. Descripción del algoritmo de identificación

Estos 64 bits incluyen un primer byte (el menos significativo) que identifica el tipo de dispositivo de que se trata, seis bytes siguientes que identifican uno de  $2^{48}$  posibles elementos del mismo tipo, y un último byte (el más significativo) de redundancia cíclica basada en la información contenida en los primeros siete bytes. Esta configuración de datos permite no solamente la verificación de errores en la lectura sino que ofrece, fundamentalmente, una cantidad de direcciones que permite evitar la duplicación de códigos de los dispositivos fabricados.

El protocolo utiliza niveles lógicos convencionales, compatibles con las familias lógicas TTL y CMOS, y admite un rango de tensiones de alimentación entre 2,8 y 6 V. Para su funcionamiento se adopta una configuración de comunicación en semi duplex, lo que significa que tanto el maestro como los esclavos pueden transmitir y recibir información, pero no en forma simultánea.

### III. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA REGISTRADOR

Se describe en este trabajo un sistema registrador continuo de temperaturas, basado en un microcontrolador de 8 bits, el que controla un conjunto de termómetros digitales desarrollados sobre la base del protocolo conocido como 1-Wire<sup>®</sup>. El registrador que se describe incluye, además de la interfaz para el manejo de los sensores de temperatura, una interfaz para manejo de una memoria externa, tipo SD o similar para el almacenamiento de los registros, y una interfaz con una computadora supervisora, para la descarga de dichos registros y para la interfaz con el usuario. Para trabajar en forma independiente, la interfaz con el usuario se establece con un teclado de cuatro teclas y un elemento visualizador LCD de dos líneas de texto. La figura 1 presenta un diagrama en bloques del sistema desarrollado.

Dado el protocolo planteado para el manejo de los sensores de temperatura, un aspecto fundamental a desarrollar en el sistema registrador es el de la identificación de cada uno de los dispositivos conectados en la red de sensores. La solución a esta cuestión es importante debido a que en una red como la que se analiza, es necesario poder identificar la medición

realizada y relacionarla con el sensor que realizó dicha medición.

En una nota de aplicación [2], desarrollada por la firma propietaria del protocolo, se describe una aplicación basada en un esquema de búsqueda binaria. La misma se basa en la lectura secuencial de los bits provenientes de los sensores para identificar la existencia de uno o más elementos esclavos que puedan responder al requerimiento del maestro. La implementación del sistema propuesto en esa nota de aplicación puede exceder los recursos disponibles en algunos microcontroladores de bajo costo, en especial en lo que hace a su capacidad de memoria, por lo cual, en este trabajo, se plantea una implementación alternativa a la propuesta de la firma propietaria.

Para desarrollar el sistema registrador de temperaturas que se describe se utilizó un microcontrolador de la familia 68HC908 de la firma Freescale Semiconductor.

Este microcontrolador se ocupa de la implementación del algoritmo de búsqueda, la administración de la red de sensores, el registro de las temperaturas medidas y su eventual transferencia hacia un sistema supervisor, opcional, basado en PC.

De acuerdo con la figura citada, en este proyecto en particular se utilizaron ocho termómetros compatibles con protocolo 1-Wire. El interrogatorio de los dispositivos, de acuerdo con lo dicho, se lleva a cabo a través de un único par de cables, del tipo colector abierto, y se basa en una relación maestro esclavo.

Para comenzar los interrogatorios, el dispositivo maestro fuerza la línea a su valor lógico cero durante un tiempo determinado, tras lo cual, si el interrogatorio se establece en modo lectura, el esclavo responde, luego de un tiempo que podría considerarse como tiempo de acceso, con un cero o con un uno.

Para la escritura se procede de manera similar, pero, en este caso, el maestro fuerza la línea a los niveles lógicos de cero o

de uno por un tiempo establecido que permita que el dispositivo esclavo asuma la escritura del bit en cuestión.

En el caso particular de la determinación del número de serie, el problema a resolver, sobre todo cuando se cuenta con más de un dispositivo en la línea de transmisión, es la determinación de cada bit de ese número de identificación, ya que los dispositivos se interrogan en forma simultánea y responden todos al mismo tiempo. El problema que se plantea en este caso es la determinación de todos los números de serie individuales. El protocolo desarrollado funciona de la siguiente manera:

- Se envía un comando de reinicio (reset) global, lo que se logra forzando un cero lógico en la línea de transmisión aproximadamente durante 500  $\mu$ s.
- Se envía un comando "search R"
- Los dispositivos responden con el primer bit.
- Se reenvía el primer bit de la cadena.

En este segundo paso, solamente responden al requerimiento los dispositivos que poseen el bit en esa posición coincidente con el enviado, quedando inhibidos los que poseen el bit complementario hasta que se genere un nuevo estado de reinicialización. Los dispositivos responden con el próximo bit de la cadena.

Se continúa con la secuencia hasta completar los 64 bits. De existir una discrepancia se elige uno de los dos caminos del árbol de búsqueda.

La implementación del algoritmo se resuelve con una palabra de 64 bits (8 bytes) que se inicializa en cero, un contador de dispositivos encontrados inicializado en cero, y tres punteros de 8 bits que se inicializan en el número 65. Estos punteros se consideran como punteros al bit de la palabra de 64 bits. La figura 2 ilustra el esquema planteado.

Se comienza el proceso por medio de la inicialización de la línea de transmisión. Luego se procede a enviar un comando de búsqueda, "Search R", lo que provoca que los dispositivos contesten con su primer bit, en la primera lectura con su valor verdadero y en la subsiguiente con el valor complementario. Esto provoca cuatro estados posibles a saber:

- 1 seguido de 1: es un caso que indica que no hay dispositivos, es poco probable que suceda, pero debe tenerse en cuenta.
- 1 seguido de 0: implica que el bit correspondiente a esa posición es un 1 y que todos los dispositivos interrogados poseen en esa posición un 1.
- 0 seguido de 1: idéntico al caso anterior pero el bit de esa posición es un cero.
- 0 seguido de otro 0: existe una discrepancia, es decir hay dispositivos que tienen un 1 y otros un cero en esa posición. Este último es el caso de análisis, debido a que existe una bifurcación en la lectura del número de serie.

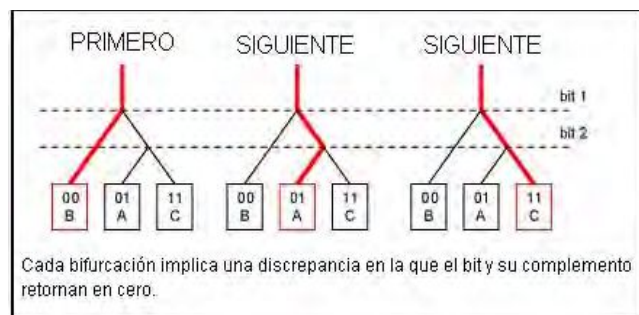


Figure 2. Descripción del algoritmo de identificación

El algoritmo optimizado que se describe, ante esta situación asume un cero en esa posición y marca en un puntero que existió dicha diferencia. A medida que se interroga por cada bit, los bits ya resueltos se envían en primera instancia y se interroga el próximo. Cada vez que se determina un bit nuevo, se decrementa uno de los punteros inicializados en 65. Cuando este puntero llega a cero se asume una cadena completa.

Una vez determinada una cadena completa se inicia una nueva búsqueda partiendo del último punto en el que haya habido una discrepancia no resuelta, hasta terminar la cadena completa. Pueden surgir nuevas discrepancias que serán resueltas en las subsiguientes búsquedas.

La implementación del algoritmo, difiere de la solución recomendada por el fabricante, básicamente en la optimización y aprovechamiento de punteros, registros y memoria aplicada a la búsqueda. Para determinar la identificación de los dispositivos sensores conectados al sistema registrador solo se usan 12 bytes de memoria de lectura escritura.

Los resultados obtenidos se almacenan en una memoria no volátil, incluida en el sistema registrador, para su utilización directa o para su transferencia posterior a un sistema supervisor externo.

#### IV. DESCRIPCIÓN DEL SENSOR UTILIZADO

El registrador de temperaturas utilizado en el presente trabajo se basa en un termómetro digital, modelo DS 18B20, cuyas características lo hacen apropiado para la aplicación a desarrollar. En efecto, es un sistema sensor de temperaturas que ha sido desarrollado por sus fabricantes para ser compatible con el protocolo 1-Wire. Es capaz de medir temperaturas en el rango de  $-55^{\circ}\text{C}$  a  $+125^{\circ}\text{C}$ , ofreciendo una precisión de  $0,5^{\circ}\text{C}$  en el rango de  $-10^{\circ}\text{C}$  a  $+85^{\circ}\text{C}$ . Su alimentación eléctrica se toma directamente desde la línea compartida, lo que evita la necesidad de fuentes de alimentación adicionales.

La identificación única de cada dispositivo, por medio de un código de 64 bits, permite su utilización en conjunto con un sistema controlador, distribuidos en un área de gran tamaño.

El dispositivo entrega los valores de temperatura, en grados centígrados, en un formato de 9 a 12 bits, para lo que incluye en su electrónica un registro de dos bytes, para almacenar la salida del sensor de temperatura incorporado, así como también un registro de configuración de un byte (el que permite configurar la resolución de la conversión de temperaturas a 9, 10, 11 o 12 bits), y dos registros de disparo de alarma por alta y

baja temperatura. Estos últimos registros son todos no volátiles, basados en EEPROM, lo que permite retener los parámetros de configuración aún ante la falta de alimentación eléctrica.

## V. IMPLEMENTACION DEL SISTEMA

El sistema descripto fue implementado, en su versión original (que se encuentra en funcionamiento) sobre la base de un microcontrolador Freescale 68HC908JK1.

Dado que este elemento no posee un canal serie implementado como tal, la comunicación serie requerida para la transmisión de datos fue desarrollada por software, utilizando las rutinas internas habitualmente utilizadas para programación y depuración.

El sistema adquiere los datos de temperatura de N sensores conectados al mismo, determinando, al inicio, la cantidad N de sensores conectados, para lo que se utilizan los algoritmos descriptos en el presente trabajo.

Los datos de temperatura adquiridos se transmiten en tiempo real y a intervalos de tiempo regulares y previamente determinados, a través del mencionado canal serie, a un sistema supervisor basado en una computadora personal.

Estos datos se envían en un formato compatible para su descarga directa a una planilla de cálculo convencional.

Una versión más completa del registrador de temperatura descripto prevé el agregado al sistema de una memoria SD de capacidad apropiada, lo que permite que el sistema funcione en forma autónoma almacenando los datos medidos en caso de no estar conectado a un supervisor, y hasta que se establezca la conexión correspondiente,

En esta misma mejora se prevé el agregado de un elemento de visualización, de tecnología LCD, que sirve como interfaz de usuario, al que le exhibe, a pedido, los valores de temperatura medida en cada uno de los sensores, conjuntamente con la identificación del mismo. Se prevé que este elemento visualizador sirva, en conjunto con un teclado de cuatro teclas, tal como se muestra en la Figura 1, como interfaz de configuración,

Para estas mejoras previstas en el registrador descripto, se prevé asimismo el reemplazo del microcontrolador mencionado por otro con mayor capacidad de memoria y de manejo de entrada salida. En este caso podrá utilizarse el canal serie implementado físicamente sin necesidad de utilizar el software previamente mencionado.

## REFERENCIAS

- [1] Linus Wong, 1-Wire (Protocol) Dallas Semiconductor/Maxim. A.N.
- [2] Dallas Semiconductor/Maxim. DS18B20 Programmable Resolution 1 Wire Digital Thermometer..